

OULUN SEUDUN  
AMMATTIKORKEAKOULU



Markus Flander

## **KIINTEÄN POLTTOAINEEN KULJETINJÄRJESTELMÄN SUUNNITTELU LÄMPÖLAITOKSEEN**

# **KIINTEÄN POLTTOAINEEN KULJETINJÄRJESTELMÄN SUUNNITTELU LÄMPÖLAITOKSEEN**

Markus Flander  
Opinnäytetyö  
Kevät 2013  
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma  
Oulun seudun ammattikorkeakoulu

# TIIVISTELMÄ

Oulun seudun ammattikorkeakoulu  
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma, energiatekniikka

---

Tekijä: Markus Flander

Opinnäytetyön nimi: Kiinteän polttoaineen kuljetinjärjestelmän suunnittelu lämpölaitokseen

Työn ohjaajat: Helena Tolonen OAMK, Sampo Jauhiainen Katera Steel Oy

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: kevät 2013 Sivumäärä: 34 + 2 liitettä

---

Opinnäytetyö on tehty Katera Steel Oy:lle Kajaaniin. Opinnäytetyön tavoitteena oli löytää järkevä ratkaisu tankopurkaimelle, jolla voitaisiin siirtää puuhaketta kiinteärakenteisesta polttoainevarastosta ruuvikuljettimelle.

Tankopurkaimen suunnittelussa käytettiin Solidworks-3D-mallinnusohjelmaa. Rakenne mallinnettiin kokonaisuudessaan ja rakenteiden kestävyyttä simuloitiin mallinnusohjelmalla.

Tankopurkain muodostuu varaston pohjarakenteen päällä ohjattuna edestakaisin liikkuvista tangoista ja niihin kiinnitetyistä, poikkileikkaukseltaan kolmionmuotoisista kolista. Kolat työntävät otsapinnallaan polttoainetta eteenpäin. Kolien muotoilu on suunniteltu siten, että tankojen liikkuessaa taaksepäin polttoainepatsas ei liiku. Polttoaineen takaisin liikkumista voidaan estää myös varaston pohjaan kiinteästi asennetuilla vastakolilla. Tankojen liike-energia saadaan hydraulisyntereistä, jotka kiinnitetään tangon päässä oleviin korvakkeisiin.

Työn tuloksena suunniteltiin teräsrakenteinen tankopurkain polttoainevarastoon. Tankopurkaimesta tehtiin valmistuspiirustukset ja rakenteen kestävyyttä simuloitiin mallinnusohjelmalla. Rakenteen kriittisimmille hitsausliitoksille tehtiin lujuustarkastelu.

---

Asiasanat:

kuljetinjärjestelmä, tankopurkain, kiinteä polttoaine, hake, lämpölaitos

## **ALKULAUSE**

Aluksi haluan kiittää Katera Steel Oy:n Sampo Jauhiaista mielenkiintoisesta opinnäytetyön aiheesta, ohjauksesta ja siitä, että sain toteuttaa työni Katera Steel Oy:lle. Haluan kiittää lehtori Helena Tolosta ohjauksesta ja avusta työtä suoritettaessa. Kiitos kielellisestä ohjauksesta kuuluu lehtori Tuija Juntuselle.

Oulussa 6.5.2013

Markus Flander

# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ALKULAUSE	4
SISÄLLYS	5
1 JOHDANTO	7
1.1 Katera Steel Oy	7
1.2 Työn tavoite	7
2 PUUENERGIA	9
3 HAKELÄMMITYS	11
3.1 Puuhake	11
3.2 Hakelämpölaite	13
3.2.1 Toimintaperiaate	13
3.2.2 Paloturvallisuus	14
4 TANKOPURKAINJÄRJESTELMÄ	16
4.1 Polttoainevarasto	16
4.2 Tankopurkain	17
4.3 Syöttöruuvi	17
5 SUUNNITTELUN TYÖNKULKU	19
5.1 Tehtävän selvitys	19
5.2 Luonnostelu	19
5.3 Kehittely	20
5.4 Viimeistely	21
6 TANKOPURKAIMEN SUUNNITTELU	23
6.1 Rakenne	23
6.1.1 Kolapalkki	24
6.1.2 Pohjapalkki	24
6.1.3 Tukielimet	25
6.2 Hydraulisylinteri	26
6.3 Turvallisuus	28
7 LUJUUSTARKASTELUA	29
7.1 Hitsausliitokset	29
7.2 Rakenteen lujuusanalyysi	30

8 YHTEENVETO

32

LÄHTEET

LIITTEET

Liite 1 Lähtötietomuistio

Liite 2 Valmistuspiirustukset

# 1 JOHDANTO

Energiapuusta tehdyn metsähakkeen käyttö on kasvanut viimeisen kymmenen vuoden aikana hyvin nopeasti, keskimäärin noin 400 000 kiintokuutiometriä vuodessa. Esimerkiksi vuonna 2009 metsähakkeen energiakäyttö oli 5,4 miljoonaa kiintokuutiometriä eli noin 10,8 TWh. Kansallisena uusiutuvan energian käytön tavoitteena on, että vuoteen 2020 mennessä hakkeen käyttö nousee 13,5 miljoonaan kuutiometriin eli 28 TWh:iin. (1.)

## 1.1 Katera Steel Oy

Katera Steel Oy polveutuu Hitsaus ja levytakomo Ky -nimisestä otanmäkeläisestä metalliverstaasta. Hitsaus ja levytakomo Ky:n perusti vuonna 1961 Esa Jauhiainen, jonka jälkeläiset toimivat edelleen yrityksen johdossa ja palveluksessa. Aluksi yritys toimi metalliverstaana, ja se valmisti muun muassa metsäoja-auroja ja teräsveneitä sekä teollisuuden teräsrakenteita. Tätä nykyä toimitusjohtajana toimii Ismo Jauhiainen. Tänäpä yhtiössä työskentelee jo kolmas sukupolvi. Tuotantotilaa on yhteensä 7 000 m<sup>2</sup> ja henkilöstöä 40. (2.)

Katera Steel Oy:n toimiala on laajentunut Hitsaus ja levytakomo Ky:n ajoista. Nykyään yritys on koneiden ja laitteiden järjestelmätoimittaja. Osavalmistus, hitsauskokoönpano, koneistus, pintakäsittely sekä loppukokoönpano sähkö- ja hydrauliiikkatöineen kuuluvat yrityksen osaamiseen. Yrityksen referenssejä ovat esimerkiksi raepuhallusrobotit Blastman Robotics Oy:lle sekä laitetilat VR-Rata Oy:lle. Suurimpiin asiakkaisiin lukeutuvat myös jätteenkäsittelylinjoja suunnitteleva Cross Wrap Oy ja lentokenttämastoja tuottava Exel Composites Oy. Nyt yritys hakee uutta aluetta ja kasvua uusien omien tuotteiden kautta, kuten lämpölaitoksien valmistus eri kokoluokissa. (2.)

## 1.2 Työn tavoite

Tämän opinnäytetyön päätavoite on suunnitella polttoaineen kuljetinjärjestelmä lämpölaitoksen polttoainevarastosta kattilan syöttöruuville. Polttoaineen siirroksa käytetään tankopurkaimia. Suunnittelussa rakenteesta tehdään valmistuspii-

rustukset ja rakenteen kestävyyttä simuloidaan. Työn alkuperäinen kuvaus ja tavoitteet on esitetty lähtötietomuistiossa liitteessä 1.

Opinnäytetyössä selvitetään puuenergian käyttöä ja tulevaisuuden käytön tavoitteita Suomessa. Työssä käydään läpi hakkeen käyttöä polttoaineena lämpölaitoksessa, hakelämpölaitoksen toimintaperiaatetta ja paloturvallisuutta. Lisäksi työssä käsitellään yleisen suunnitteluprosessin työnkulkua.



## 2 PUUENERGIA

Puuenergia on bioenergiaa eli uusiutuvaa energiaa. Puuenergia on hiilidioksidineutraalia eli se ei lisää hiilidioksidipäästöjä. Biomassojen poltossa vapautuva hiili sitoutuu uudelleen kasvavaan biomassaan. Toisaalta poltossa vapautuu saman verran hiilidioksidia kuin vapautuisi vastaavan biomassan hajotessa luonnossa. (1.)

Valtaosa Suomen uusiutuvasta energiasta tuotetaan puuperäisistä biomassoista. Suurin osa puuenergiasta tuotetaan hyödyntämällä puunjalostusteollisuuden sivuvirtoja kuten kuorta, sahanpurua ja selluntuotannossa syntyvää mustalipeää. (1.)

Teollisuuden puupohjaisten sivuvirtojen ohella puuenergiaa tuotetaan suoraan metsästä korjattavasta energiapuusta, jota kutsutaan myös metsäpolttoaineeksi. Energiapuusta tehdyn metsähakkeen käyttö on kasvanut viimeisen kymmenen vuoden aikana hyvin nopeasti, keskimäärin noin 400 000 kiintokuutiometriä vuodessa. (1.)

Vuonna 2009 metsähakkeen energiakäyttö oli 5,4 miljoonaa kiintokuutiometriä eli noin 10,8 TWh (taulukko 1). Kansallisena uusiutuvan energian käytön tavoitteena on, että vuoteen 2020 mennessä hakkeen käyttö nousee 13,5 miljoonaan kuutiometriin eli 28 TWh:iin. (1.)

*TAULUKKO 1. Kiinteiden puupolttoaineiden käyttö lämpö- ja voimalaitoksissa vuosina 2000–2010 (1)*

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
milj. kiinto-m <sup>3</sup>											
Kiinteät puupolttoaineet	12,02	12,15	13,01	13,39	14,43	13,66	14,78	13,04	14,34	13,46	16,02
Metsähake	0,79	0,96	1,27	1,72	2,31	2,61	3,06	2,66	4,03	5,42	6,24
Teollisuuden puutärehake	0,64	0,85	0,79	0,88	0,98	1,01	0,95	0,87	0,76	0,8	0,91
Sahanpuru ja muut purut	2,78	2,18	2,12	2,25	2,17	1,72	1,69	1,71	1,61	1,34	1,76

*(jatkuu)*

*TAULUKKO 1. (jatkuu)*

Kuori	7,6	7,86	8,42	7,97	8,38	7,62	8,39	7,46	7,09	5,37	6,575
Muu puupoltto- aine	0,21	0,29	0,41	0,57	0,58	0,7	0,69	0,35	0,85	0,53	0,54

## 3 HAKELÄMMITYS

### 3.1 Puuhake

Hake on koneellisesti hakettua puuta, jota käytetään nykyaikaisissa kiinteistöjen automaattisissa puulämmityslaitteissa ja aluelämpölaitoksissa ja voimaloissa. Se on peräisin puun rungosta, oksista tai juurista. Erityyppiset kattilat vaativat laadultaan hyvinkin erilaisia hakkeita. Pieniin lämmityslaitteisiin sopii parhaiten hakepalaltaan 10–30 mm pituinen, tasalaatuinen ja kuiva ranka- ja kokopuuhake (kuva 1), jossa on mahdollisimman vähän viherainetta. (3.)



*KUVA 1. Kokopuuhaketta (4)*

Suuriin laitoksiin käytetään erityisesti hakkuutähdehaketta (kuva 2), sahaaketta, kokopuuhaketta ja niiden seoksia yhdessä muiden kiinteiden polttoaineiden kanssa. Tärkeätä on saada hakkeiden kosteus mahdollisimman alhaiseksi. Metsähake on yleisnimitys suoraan metsästä energiakäyttöön tuleville hakkeille haketuspaikasta riippumatta. (3.)



*KUVA 2. Hakkuutähdehaketta (4)*

Puusta tehdyn hakkeen laatuominaisuudet nähdään taulukosta 2. Tärkeimmät näistä ominaisuuksista ovat

- irtotiheys
- kosteus
- tehollinen lämpöarvo
- palakoko (6).

*TAULUKKO 2. Metsähakkeen puupolttoaineen laatuohjeen mukaiset ominaisuudet (7)*

Ominaisuus	Metsätähdehake	Kokopuu-hake	Ranka-hake	Kanto-hake
Kosteus, %	50–60	45–55	40–55	30–50
Tehollinen lämpöarvo kuiva-aineessa, MJ/kg	18,5–20	18,5–20	18,5–20	18,5–20
Tehollinen lämpöarvo saapumistilassa, MJ/kg	6–9	7–10	7–11	8–13
Irtotiheys saapumistilassa, kg/i-m <sup>3</sup>	250–400	250–350	250–350	200–300
Energia tiheys, MWh/i-m <sup>3</sup>	0,7–0,9	0,7–0,9	0,7–0,9	0,7–1,0

*(jatkuu)*

TAULUKKO 2. (jatkuu)

Tuhkapitoisuus kuiva- aineessa, %	1–3	1–2	0,5–2	1–3
Hiilipitoisuus kuiva- aineessa C, %	48–52	48–52	48–52	48–52
Vetypitoisuus kuiva- aineessa (H), %	6–6,2	5,4–6	5,4–6	5,4–6
Rikkipitoisuus kuiva- aineessa (S), %	< 0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Typpipitoisuus kuiva- aineessa (N), %	0,3–0,5	0,3–0,5	0,3–0,5	0,3–0,5

Hakelämmitys soveltuu parhaiten kohteisiin, joissa polttoaine saadaan omasta takaa ja sen keruuseen on resursseja. Hakelämpöä saa myös ostopalveluna lämpöyrittäjiltä ja -osuuskunnilta. (5.)

### 3.2 Hakelämpölaitos

Hakelämpölaitos on lämmöntuotantoon tehty laitos, joka käyttää lämmön lähteenä kiinteitä biopolttoaineita. Sen tarkoituksena on tuottaa lämpöenergiaa ensisijaisesti puuta polttamalla, mutta ohessa voidaan polttaa myös muita kiinteitä aineita. Hakelämpölaitos koostuu yleisesti seuraavista pääkomponenteista: kattila, palopää eli stokeri, polttoaineen syöttölaitteet ja polttoainevarasto. (5.)

#### 3.2.1 Toimintaperiaate

Hakelämpölaitoksen varastossa oleva purkain siirtää haketta syöttöruuville hakevarastosta ja syöttöruuvi kuljettaa hakkeen edelleen palopäähän, jossa hake palaa. Palopää on yleensä kattilan seinämään liitetty erillinen osa. Palamisen parantamiseksi palopäähän puhalletaan erillisillä puhaltimilla ilmaa. Puhaltimia on pienimmissä kattiloissa yksi ja isoimmissa kaksi tai useampia. Palopäässä on lisäksi tyrkkijä, joka varistelee palamisjäännöksen eli tuhkan alas kattilan pohjalle tuhkatilaan. Tuhkatilasta tuhka joko kuljetetaan tuhkaruuville ulos tai tyhjennetään perinteisesti käsin. (6, s. 39.)

Palamisen tuloksena syntynyt lämpö siirtyy kattilassa olevien lämmönsiirtolevyjen ja konvektiopintojen välityksellä kattilaveteen, jolla lämmitetään lämmitys-

verkostossa kiertävä vesi. Palamisesta syntyvät savukaasut johdetaan savupii-  
pun kautta ulos. (6, s. 39.)

### **3.2.2 Paloturvallisuus**

Tuli voi siirtyä kattilasta polttoainevarastoon ainakin kolmella tavalla: ryömimällä haketta pitkin kuljettimissa, pölyräjähdysenä tai häkäkaasuna, joka leimahtaa tai räjähtää. (6, s. 45.)

Takatulen estoon käytetään erilaisia menetelmiä, esimerkiksi hakekuilujen sprinklerilaitteita, hakkeen välipudotusta ruuvilta toiselle ja sulkusyötintä. Hakkeen välipudotus ruuvilta toiselle tarkoittaa ilmahyppyä, joka katkaisee suoran hakeyhteyden varaston ja kattilan välillä. Sulkusyöttimellä katkaistaan yhteys kattilan ja varaston välillä koko ajan ja sillä annostellaan haketta sekä estetään kaasumaisten aineiden pääsyä varastoon päin. (6, s. 45.)

Mekaanisilla annossyöttimillä pystytään estämään takatulen ryömintä sekä usein myös pöly- ja kaasuräjähdys. Tällöin edellytyksenä on syöttimien palon kestävyys ja ilmatiiviys, joka katkaisee yhteyden kattilan ja varaston välillä myös kaasuilta. Vesiventtiileillä pystytään lähinnä estämään takatulen ryöminen kuivan hakkeen seassa, joten paloturvallisuutta ei voi jättää pelkästään niiden varaan. (6, s. 45.)

Tuli ryömii syöttöputkessa herkimmin, kun puupolttoaine on erityisen kuivaa. Takatulivaara on suuri myös silloin, kun syöttö katkeaa suurelta teholta nopeasti, esimerkiksi sähkökatkon seurauksena. Häkäkaasun pyrkiminen varastoon päin on seurausta huonosta vedosta kattilassa. Vedon heikkous saattaa olla seurausta säästä tai savukaasupuhaltimen pysähtymisestä tai syynä voi olla tuhkasta tukkeutunut kattilan savukanava. (6, s. 45.)

Tulipalojen sammuttaminen on sitä helpompaa, mitä aikaisemmin sammutus aloitetaan. Siksi hakelämpölaitos tulisi varustaa automaattisella sammutusjärjestelmällä. Kun asennetaan sprinkleriputkisto suuttimineen, sammutus alkaa välittömästi suuttimen lauetessa. Yhdellä suuttimella saavutetaan 9–12 m<sup>2</sup> suojausala. Hakelämpölaitos tulee aina varustaa käsisammuttimin. Tekniset ratkaisut eivät yksinään riitä takaamaan laitoksen paloturvallisuutta, vaan aina tulee

muistaa huolellisen hoidon ja siisteyden merkitys laitoksen paloturvallisuuteen.  
(6, s. 46.)

## 4 TANKOPURKAINJÄRJESTELMÄ

### 4.1 Polttoainevarasto

Polttoainevarasto voi olla konttirakenteinen tai kiinteärakenteinen. Kiinteärakenteisessa varastossa on betonilattia. Polttoainevarasto täytetään avautuvan katon kautta etukuormaajalla tai rinneratkaisussa suoraan autosta. (6, s. 34.)

Polttoainevaraston purkaminen tulee tapahtua tasaiselta maalta. Läpiajettavaan varaston purkaminen on helpointa. Rinneratkaisulla (kuva 3) varastoon saadaan korkeutta ja hyödynnettyä luontaista maalämpöä. (6, s. 34.)



*KUVA 3. Lämpölaitoksen polttoainevarasto rinteessä (8)*

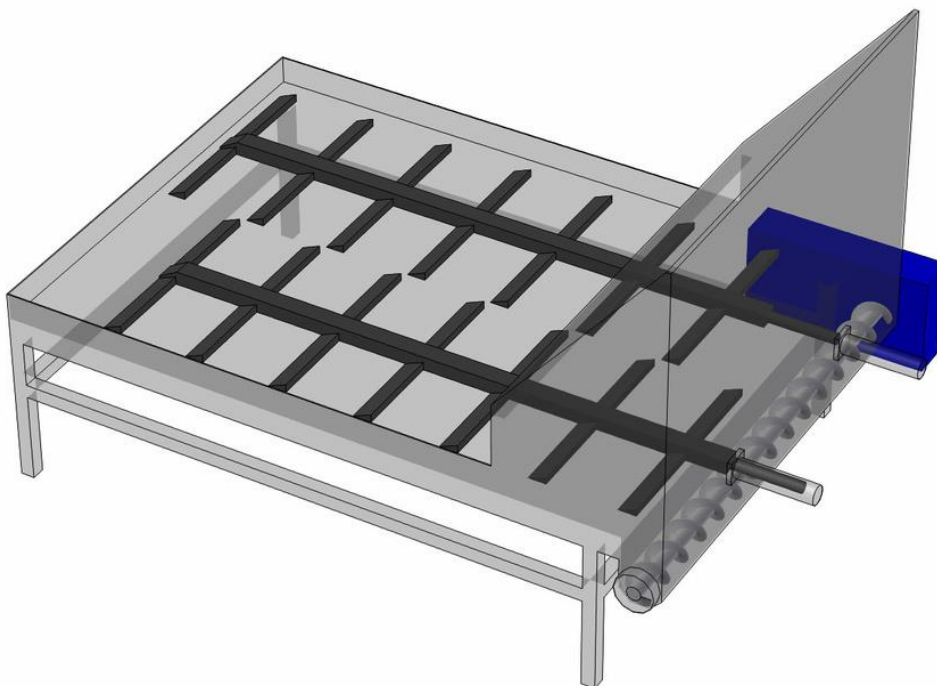
Polttoainevarastossa hakkeesta voi muodostua erittäin hyvin koossa pysyviä holveja. Varasto holvaantuu sitä helpommin, mitä laajempi palakokojakauma on ja mitä kosteampi hake on. Holvaantumisen ehkäisemiseksi varaston seinistä ainakin kahden on hyvä olla alaspäin aukeavia ja purkainten on purettava koko varaston lattian alalta. Päältä purkavilla syöttimillä holvaantumista ei pääse tapahtumaan ja hake ehtii jopa hiukan kuivahtaa pinnasta. (6, s. 34.)



Hakkeen varastoon jäätymistä estetään lattialämmityksellä. Lämmitys sulattaa myös jäätyneitä hakepaakkuja ja voi jopa hiukan kuivattaa haketta. Hake voi myös juuttua tai jäätyä varaston etuseinään kola- tai tankopurkainten työntövoimasta. Tämä voidaan ehkäistä laittamalla varastoon alaspäin painavat tankopurkaimet. Varastossa on oltava hyvä ilmanvaihto. (6, s. 34.)

## 4.2 Tankopurkain

Tankopurkain (kuva 4) muodostuu varaston pohjarakenteen päällä ohjattuna edestakaisin liikkuvista tangoista ja niihin kiinnitetyistä, poikkileikkaukseltaan kolmionmuotoisista kolista. Kolat työntävät otsapinnallaan polttoainetta eteenpäin. Kolien muotoilu on suunniteltu siten, ettei tankojen liikkuessa taaksepäin polttoainepatsas liiku. Polttoaineen takaisin liikkumista voidaan estää myös varaston pohjaan kiinteästi asennetuilla vastakolilla. (9, s. 101.)



*KUVA 4. Tankopurkain polttoainevarastossa (10)*

## 4.3 Syöttöruuvi

Varastopurkaimilta hake syötetään kattilaan ruuveilla (kuva 5). Ruuvien saamaa hakemäärää annostellaan pinnanvartijoilla, jotka toimivat sähköllä tai jopa mekaanisesti. Ruuveja pyöritetään sähkömoottoreilla. Syötettävää hakemäärää

säädellään katkokäynnillä ja pyörimisnopeudella. Jos kattila sammuu, pysäyttää liekinvartija syöttimen. (6, s. 34.)



*KUVA 5. Syöttöruuvi (11)*

Pinnanvartijoiden aiheuttamat häiriöt johtuvat yleensä tikuista. Mekaaniset pinnanvartijat ovat herkempiä häiriöille. Ruuvit tukkeutuvat tikuista ja vieraista esineistä suojakuoreen mennessä ja kuljettimen hyppyissä. Varastosta purkautessaan hake seuloutuu niin, että viimeiseksi varastoon jäävät tikut ja täytön jälkeen tikut purkautuvat ruuviin kerralla. (6, s. 35.)

Tikkuisuus ei haittaa, kun ruuvin halkaisija on vähintään 200 mm. Lisänä voi olla leikkaavia teriä ja ruuvin hammastusta. Hyppyjen alapuolinen ruuvi on parempi olla yläpuolista isompi, varsinkin jos nousukulma on yli 45 astetta. Ruuvien tarkistuskansissa on hyvä olla syötintoimintojen katkaisija niitä avattaessa. Pölyn takia kattilahuoneeseen sijoitettavien syöttimien osien on oltava ilmatiiviitä. (6, s. 35.)

## **5 SUUNNITTELUN TYÖNKULKU**

### **5.1 Tehtävän selvitys**

Tehtävän selvityksessä idea tuotteesta esitellään suunnittelijalle. Suunnittelija alkaa kerätä informaatiota vaatimuksista ja pysyvistä reunaehdoista. Tässä vaiheessa suunnittelija tutustuu esimerkiksi tuotteen tulevaan ympäristöön ja olosuhteisiin, joihin tuote joutuu valmistuttuaan. (12.)

Tässä tehtävässä luodaan vaatimuslista, jossa otetaan huomioon konstruktiivisen kehityksen tarve ja sen mukana suunniteltavat seuraavat työaskeleet. Tuotteesta määritetyt asiat vaatimuslistalla ohjaavat suunnittelua koko prosessin ajan. Vaatimuslistaa tulee päivittää aika-ajoin, koska työn aikana voi tulla uutta tietoa ja määritteitä. (12.)

Opinnäytetyössä työn tilaaja esitteli aiheen ja lähtötiedot kuljetinjärjestelmän suunnittelulle. Suunnitteluprosessi alkoi aiheeseen tutustumisella sekä lisätiedon keräämisellä suunniteltavasta tuotteesta. Käytännössä tämä tapahtui vierailamalla pienemmissä hakelämpölaitoksissa ja tutkimalla eri lähdemateriaaleja.

### **5.2 Luonnostelu**

Luonnostelussa hahmotellaan itse tuotetta, kun kaikki tarvittavat tiedot ovat saatavilla. Luonnosteluvaiheessa ei ole tarkoitus saada valmista tuotetta, vaan tutkia erilaisia lähestymistapoja ratkaista ongelmat ja määrittää tuotteelle ominaisuudet. (12.)

Monissa tapauksista rakennetta voidaan arvostella vasta sen jälkeen, kun se saa konkreettisemmän muodon. Tämä edellyttää täsmällistä kuvaa tarvittavista materiaaleista, useimmiten alustavaa peruspiirustusta kuvaamaan kokoa, sekä teknisten ominaisuuksien huomioonottamista. Yleensä vasta näiden seikkojen jälkeen saadaan arvosteltavaksi kelpaava ratkaisuperiaate, jossa on otettu huomioon oleelliset tavoitteenasettelun ja rajoittavat ehdot. (12.)

Ratkaisuperiaate voidaan esitellä monella tavalla. Käyttäessä kiinteitä rakennelementtejä voi riittää pelkkä toimintorakenteen lohkokaavio, kytkentäkaava tai

kulkukaavio. Joissakin tapauksissa riittää vapaakätinen luonnos tai karkeamittakaavainen piirustus. (12.)

Kestävä ja menestyksellinen ratkaisu syntyy vain tarkoituksenmukaisimman periaatteen valinnan avulla eikä konstruktivisia hienouksia liikaa korostamalla. Tämä ei kumoa sitä, että tavallisimmat vaikeudet luonnostelun jälkeen aiheutuvat kuitenkin yksityiskohdista. (12.)

Luonnosteluvaiheessa syntyneitä luonnoksia pitää vertailla ja arvostella. Luonnokset, jotka eivät täytä vaatimuslistan vaatimuksia, hylätään ja muut arvostellaan sovitun menetelmäkriteerien mukaisesti. Tässä vaiheessa arvostelua painavat eniten tekniset näkökulmat, mutta myös taloudelliset näkökulmat otetaan karkeasti huomioon. Luonnosteluvaihe on tärkeä osa suunnittelua, koska luonnosteluvaiheessa tehdyt huonot päätökset kertautuvat prosessin loppuvaiheessa. (12.)

Luonnosteluvaiheessa tankopurkaimen eri osista piirrettiin luonnoksia paperille vapaalla kädellä. Tässä vaiheessa laskettiin rakenteeseen tulevien hydraulisylintereiden voimat ja niiden pohjalta lujuuslaskelmia. Jo suunnittelun alkuvaiheista lähtien rakenteen kokonaiskuva oli selkeä, joten sen pohjalta suunnittelussa oli helppo edetä.

### **5.3 Kehittely**

Kehittelyvaiheessa työstetään luonnosteluvaiheesta jatkoon päässeitä luonnoksia ja lopullinen tuote alkaa syntyä. Vaikutusrakenteesta tai periaatteellisesta ratkaisusta lähtien suunnitellaan teknisen tuotteen kokoonpanorakenne täydellisesti ja yksikäsitteisesti teknisten ja taloudellisten näkökohtien mukaan. Kehittely on ratkaisun rakennemuodon vahvistamista. Usein joudutaan tekemään rinnakkain tai peräkkäin useampia mittakaavaisia alustavia ehdotuksia, jotta päästäisiin eri muunnelmien etuihin ja haittoihin nähden ylemmälle informaatiotasolle. (12.)

Asianmukaisesti läpikäyty kehittelyvaihe päättyy teknis-taloudelliseen arvosteluun. Arvostelun jälkeen saadaan selville parhain ja edullisin muunnelma, mutta sitä voidaan kuitenkin vielä parantaa muiden, kokonaisuudessaan huonommilla

vaikuttavien ehdotusten osaratkaisujen ideoilla. Ratkaisujen ja niiden yhdistelmien soveltamisella ja arvosteluiden paljastamien heikkouksien poistamisella voidaan päästä lopulliseen ratkaisuun, ja voidaan tehdä päätös lopullisen kokonaiskehityksen rakennemuotoilusta. (12.)

Lopullisessa kokonaiskehityksessä on jo tarkistettu toiminnot, kestävyys, tilankäytön sopivuus ja niin edelleen, minkä ohessa viimeistään tässä yhteydessä on osoitettava, että kustannuksia koskevat vaatimukset voidaan täyttää. Vastatämän jälkeen voidaan siirtyä viimeistelyyn. (12.)

Luonnostelun pohjalta rakenteen eri osia alettiin mallintaa Solidworks-3D-mallinnusohjelmalla. Ensimmäiset mallinnetut kuvat lähetettiin tilaajalle kommentoitavaksi, jotta varmistuttiin siitä, että tankopurkain vastaisi tilaajan asettamia vaatimuksia. Tämä tehtiin myös siksi, että turhan työn tekeminen minimoitiin.

Tankopurkaimen jokaisesta osasta piirrettiin valmistuskuva. Suurimmille kuormituksille joutuville osille tehtiin lujuusanalyysi 3D-mallinnusohjelman avulla. Rakenteen osien materiaaleista tehtiin määrälaskelma. Tankopurkaimen kustannuksia ei huomioitu työssä, koska tilaajalla oli selvä kuva materiaali- ja valmistuskustannuksista.

#### **5.4 Viimeistely**

Viimeistelyssä teknisen rakennelman kokoonpanorakennetta täydennetään lopullisilla muotoa ja kaikkien yksittäisosien mitoitus- ja pinnanlaatua koskevilla määräyksillä, työainesten määrityksillä sekä valmistusmahdollisuuksien ja lopullisten kustannusten tarkistuksilla. Siinä laaditaan sitovat piirustukset ja muut asiakirjat suunnitelman aineellista toteuttamista varten. Viimeistelyn tulos on ratkaisun valmistustekninen määrittäminen. (12.)

Viimeistelyvaiheessa alkaa usein uudestaan virheiden korjailu, joka johtaa aikaisemmin mainittujen työaskeleiden uudelleen läpikäymiseen, ei niinkään kokonaisratkaisuihin kuin rakenneryhmien ja yksityiskohtien vuoksi. Vaikeudet piilevät usein yksityiskohdissa. (12.)

Viimeistelyssä korostuvat painoalueet ovat periaatteen optimointi, rakennemuotoilun optimointi ja valmistuksen optimointi. Nämä ovat vuorovaikutuksessa toisiinsa. Monet tapahtumat leikkaavat toisiaan. Tärkeät valmistusnäkökohdat voivat jo periaatteen määrittelyssä esittää ratkaisevaa osaa. Myös rakennemuotoiluun liittyvät tunnusmerkit, kuten työaineksen asettamat rajoitukset tai jonkin ratkaisuperiaatteen edellyttämä tilankäyttö vaikuttavat päätöksentekoon tietyn ratkaisuperiaatteen puolesta. Kuitenkin rakennemuodon samoin kuin valmistustekninen optimointi tulee konkretisoinnin edetessä tärkeämmäksi. (12.)

Viimeistelyvaiheessa valmistuskuviin tehtiin tarvittavia tarkennuksia muun muassa osaluetteloihin. Piirustusten numerointi oli tehty jo alusta pitäen siten, ettei niihin tarvinnut enää tehdä muutoksia tässä vaiheessa. Piirustusten numerointi on nähtävissä liitteessä 2. Viimeisenä vaiheena valmistuskuvat tarkasteltiin läpi.

## 6 TANKOPURKAIMEN SUUNNITTELU

Ennen suunnittelutyön aloittamista ja varsinaiseen työhön ryhtymistä pidimme tilaajan kanssa kokouksen. Kokouksessa päätettiin peruslinjauksista, joiden pohjalta työ tulisi toteuttaa.

Tankopurkain sijoitetaan kiinteärakenteiseen polttoainevarastoon, jonka mittoina ovat seuraavat:

- leveys 4,50 m
- korkeus 3,00 m
- pituus 12,00 m.

Polttoainevaraston lattiamateriaaliksi tulee betoni. Mikäli lattiasta halutaan kestävämpi, on varastoa mahdollista muokata niin, että lattia päällystetään teräslevyillä.

### 6.1 Rakenne

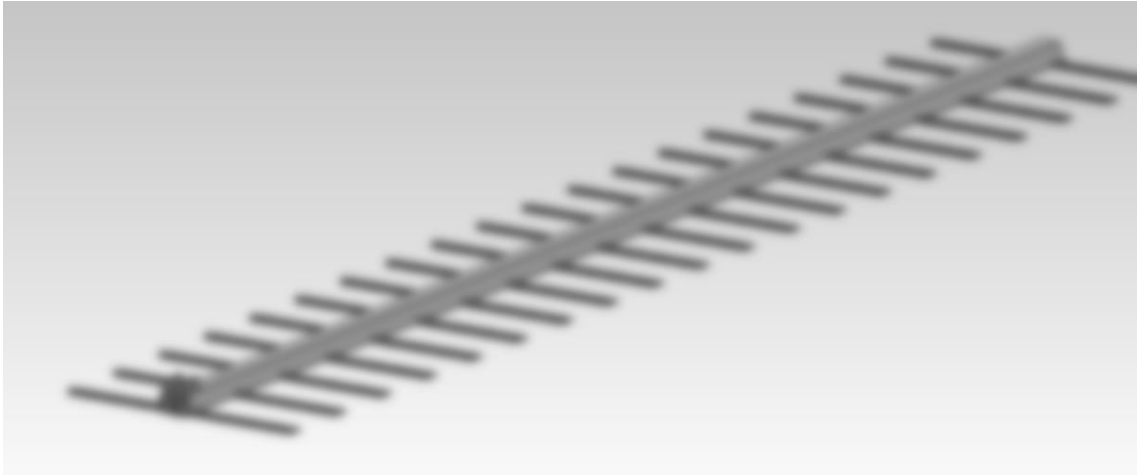
Koska tilaajan tarkoitus on koota tankopurkain ja myös valmistaa itse mahdollisimman moni sen osista, on toteutuksen oltava riittävän yksinkertainen (kuva 6). Tankopurkaimesta halutaan rakenteeltaan tukeva ja kestävä kokonaisuus. Osien määrä on pidettävä pienenä. Hitsaamalla tehtävät liitokset täytyy pystyä tekemään ongelmitta. Tankopurkain muodostuu viidestä pääosaryhmästä: kolapalkit, pohjapalkit, tukielimet, kiinnityselimet ja hydraulisylinterit.



KUVA 6. Tankopurkain kiinteälle polttoaineelle

### 6.1.1 Kolapalkki

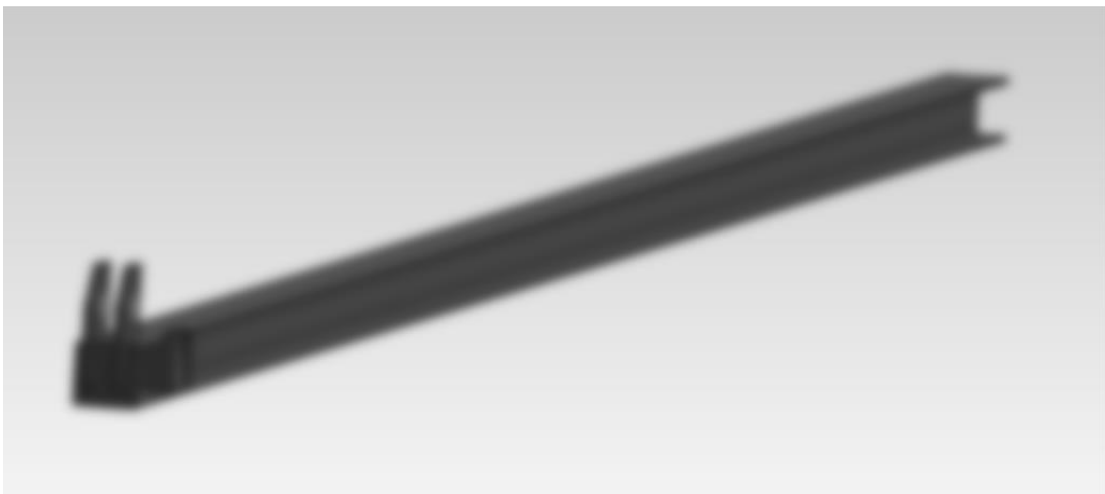
Kolapalkki (kuva 7) on profiililtaan suorakaideputkipalkki. Palkin molempiin päihin hitsataan levyt estämään hakkeen työntyminen palkin sisään. Kolapalkkiin hitsataan kolat ja kiinnityskorvake hydraulisylinteriä varten.



*KUVA 7. Kolapalkki*

### 6.1.2 Pohjapalkki

Pohjapalkkina käytetään I-palkkia (kuva 8), joka kiinnittyy polttoainevaraston lattiavaluun. Pohjapalkki ottaa rakenteen suurimmat voimat vastaan, jolloin se toimii rakenteen perusrunkona. Pohjapalkkiin kiinnittyvät kiinnityskorvake hydraulisylinteriä varten, kolapalkin ohjaustunnelit ja vastakolat.

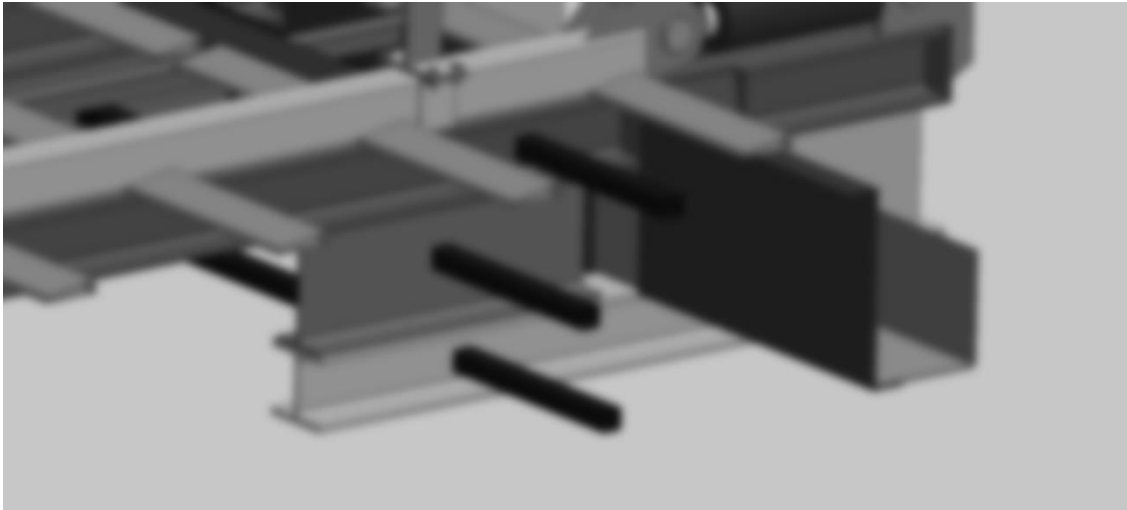


*KUVA 8. Pohjapalkki*



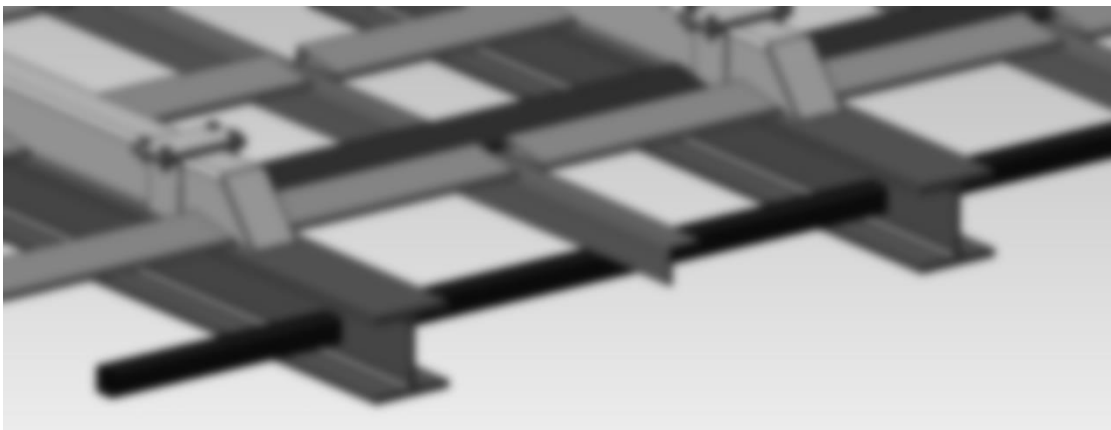
### 6.1.3 Tukielimet

I-palkit valetaan betonilattian sisään ja ne toimivat rakenteen perustana sitoen hydraulisylintereistä syntyviä voimia. I-palkit hitsataan kasausvaiheessa ja samassa yhteydessä tehdään rakenteen vaaitus. Kuvassa 9 näkyvät rakenteen tukielimet, jotka ovat I-palkit, tukiseinä, neliönmuotoinen putkiprofiili ja L-profiili.



*KUVA 9. Tukieliimiä*

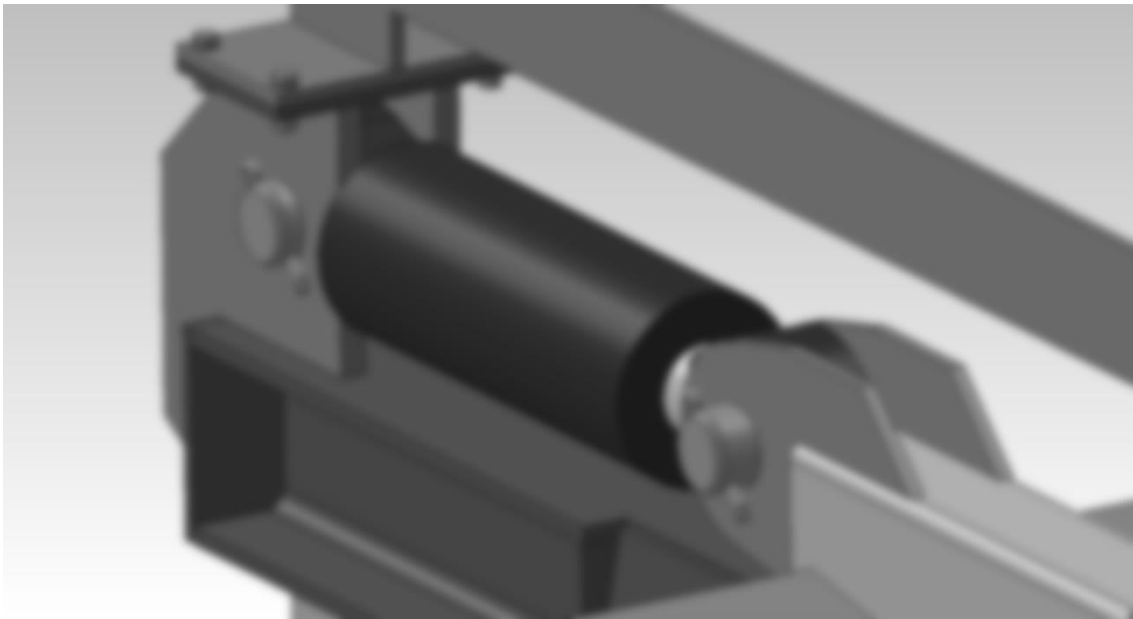
Neliönmuotoiset putkiprofiilit toimivat valukiinnityksinä, ja niiden avulla pohjapalkkien välinen etäisyys saadaan oikeaksi. L-profiilit (kuva 10) sijoitetaan pitkitäin pohjapalkkien väliin hitsaamalla ne kiinni putkiprofiilien yläpintaan. L-profiilit toimivat hitaustartuntana vastakolille.



*KUVA 10. Tukieliimiä*

## 6.2 Hydraulisyylinteri

Purkaimen tankopalkkeja liikutellaan kolmen, mitoiltaan identtisen kaksitoimisen hydraulisyylinterin avulla. Valittujen sylintereiden männänvarret ovat halkaisijoltaan 70 mm ja männät 125 mm. Hydraulisyylintereille valitaan iskupituudeksi 300 mm, jolloin hakekasaan saadaan riittävä liike. Päätyvaimennuksien käyttäminen on järkevää sylintereiden molemmissa päissä, koska ilman vaimennusta sylinterin ääriasentoihin ohjaaminen aiheuttaa järjestelmään ei-toivottuja paineiskuja. Hydraulisyylinterin kiinnitys näkyy kuvassa 11.



*KUVA 11. Hydraulisyylinterin kiinnitys*

Kaksitoimisen hydraulisyylinterin voimat riippuvat sylinterin mittojen lisäksi hydraulipumpun tuottamasta paineesta. Kaksitoimisen sylinterin sisään- ja ulosliikkeiden voimat ja nopeudet eroavat toisistaan männän ja rengasalan pinta-alaerojen vuoksi.

Rengasala on männän pinta-alan ja männän varren pinta-alan välisen erotuksen suuruinen. Tästä syystä mäntää pienempään rengasalaan kohdistuu pienempi voima, mutta sisään-liike on ulos-liikettä nopeampi.

Sylinterin voimat voidaan ratkaista kaavan 1 avulla (13, s. 99).

$$p = \frac{F}{A} \quad | \cdot A$$

KAAVA 1

$$F = pA$$

$F$  = voima (N)

$p$  = paine (Pa = N/m<sup>2</sup>)

$A$  = pinta-ala (m<sup>2</sup>)

Laskennan lähtöarvot ovat seuraavat:

$$p = 160 \text{ bar} = 16\,000\,000 \text{ Pa} = 16\,000\,000 \text{ N/m}^2$$

$$d_{\text{mäntä}} = d_1 = 125 \text{ mm} = 0,125 \text{ m}$$

$$d_{\text{männänvarsi}} = d_2 = 70 \text{ mm} = 0,070 \text{ m}.$$

Pinta-alat voidaan ratkaista kaavan 2 avulla (13, s. 18).

$$A = \frac{\pi d^2}{4}$$

KAAVA 2

Ratkaistaan tarvittavat pinta-alat.

$$A_{\text{mäntä}} = A_1 = \frac{\pi d_1^2}{4} = \frac{\pi (0,125 \text{ m})^2}{4} = 0,012272 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{männänvarsi}} = A_2 = \frac{\pi d_2^2}{4} = \frac{\pi (0,070 \text{ m})^2}{4} = 0,003848 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{rengasala}} = A_3 = A_1 - A_2 = 0,012272 \text{ m}^2 - 0,003848 \text{ m}^2$$

$$A_3 = 0,008424 \text{ m}^2$$

Ratkaistaan sylinterin voimat:

$$F_{\text{ulos}} = pA_1 = 16\,000\,000 \text{ N/m}^2 \cdot 0,012272 \text{ m}^2 = 196\,352 \text{ N} \approx 196,35 \text{ kN}$$

$$F_{\text{sisään}} = pA_3 = 16\,000\,000 \text{ N/m}^2 \cdot 0,008424 \text{ m}^2 = 134\,784 \text{ N} \approx \underline{\underline{134,78 \text{ kN}}}.$$

Kuljetinjärjestelmän toiminnan kannalta tärkeämpi voima on sylinterin sisäänliikkeessä, jolloin tankopurkain vetää haketta kohti ruuvikuljetinta, joten rakennesuunnittelun voimana käytetään sisään-liikkeen tuottamaa maksimivoimaa  $F_{sisään}$ .

### 6.3 Turvallisuus

Tankopurkaimen suurimman turvallisuusriskin aiheuttavat suurivoimaiset hydraulisylinterit, jotka voivat aiheuttaa puristautumisvaaran. Jotta tankopurkain on turvallinen käyttää, tulee hydraulisylinterit koteloida. Sylintereiden päälle voidaan esimerkiksi rakentaa kävelysilta, josta voidaan myös käydä tekemässä ajoittaisia tarkastuksia sylintereille.

Tankopurkain itsessään sijaitsee suljetussa varastossa, johon on pääsy ainoastaan silloin, kun purkain on pois käytöstä. Varaston sisälle mentäessä täytyy kuitenkin varoa mahdollisia hakkeesta muodostuneita holveja, jotka saattavat sortua niiden päälle käveltäessä.

## 7 LUJUUSTARKASTELUA

Rakenteeseen kohdistuu suurin kuormitus silloin, kun hydraulisylinterit liikkuvat sisään eli tankopurkain vetää haketta kohti ruuvia. Tarkasteluissa rakenteisiin kohdistuvana voimana käytetään teoreettista hydraulisylinterin sisään-liikkeen tuottamaa maksimivoimaa.

### 7.1 Hitsausliitokset

Hitsatun rakenteen päätoiminto on kantaa vaurioitumatta siihen kohdistuvat kuormat. Tämän toiminnon täyttäminen edellyttää, että rakenne ja sen hitsausliitokset ovat riittävän lujia, kestäviä ja sitkeitä niihin asennuksen ja käytön aikana kohdistuvia erilaisia kuormituksia vastaan. (14, s. 56.)

Rakenteen hitsausliitoksia tarkastellaan yksinkertaisen laskutavan mukaan. Laskutapa ei vaadi jännityskomponenttien tuntemista itse hitsissä, eli voiman suuntaa ei ole rajoitettu.

*TAULUKKO 3. Rakenne- ja hienoraeterästen sallittuja jännitysarvoja standardin SFS 2373 mukaan (15, s. 38)*

Teräs	Paksuus (mm)	R <sub>eL</sub> (MPa)	$\sigma_{wsall}$ (MPa)
S235	...16≤	220	<b>120</b>
	17...40≤	210	<b>115</b>
	41...	200	<b>110</b>
S275	...16≤	270	<b>130</b>
	17...40≤	260	<b>125</b>
	41...	250	<b>120</b>
S355	...16≤	340	<b>145</b>
	17...40≤	330	<b>140</b>
	41...	320	<b>135</b>

### Kolapalkin korvakkeen jännitys

Standardin SFS 2373 (taulukko 3) mukaan sallittu jännitys ( $\sigma_{wsall}$ ) on 145 MPa. Hitsin jännitys lasketaan kaavan 3 avulla (16, s. 19).

$$\sigma_w = \frac{F}{a \cdot l} \leq \sigma_{wsall} \quad \text{KAAVA 3}$$

$$\sigma_w = \frac{F}{a \cdot l} = \frac{134\,800\,N}{6\,mm \cdot 2 \cdot 150\,mm} = \underline{74,9 \frac{N}{mm^2}} < \sigma_{wsall} = 145 \frac{N}{mm^2}$$

Kokemuksien ja materiaalin paksuuden perusteella a-mitaksi valitaan vähintään 8 mm. Tällä varmistetaan kestävä ja tukeva kiinnitys korvakkeelle.

### Pohjapalkin korvakkeen jännitys

Standardin SFS 2373 (taulukko 3) mukaan sallittu jännitys ( $\sigma_{wsall}$ ) on 140 MPa.

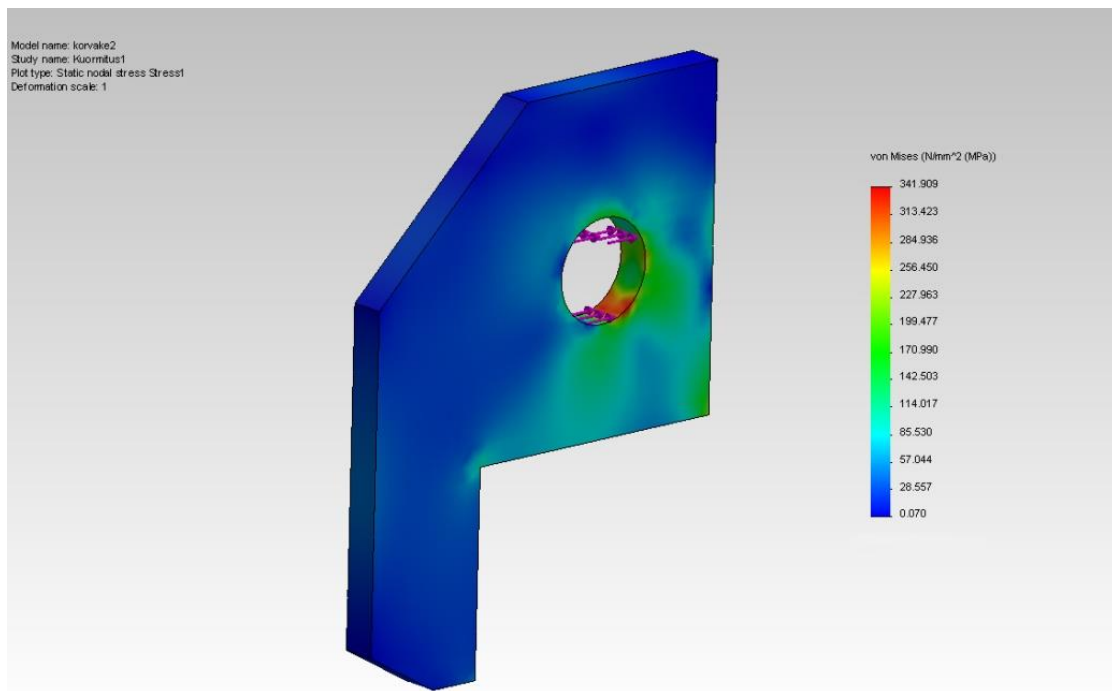
$$\sigma_w = \frac{F}{a \cdot l} = \frac{134\,800\,N}{6\,mm \cdot 2 \cdot 160\,mm} = \underline{70,2 \frac{N}{mm^2}} < \sigma_{wsall} = 140 \frac{N}{mm^2}$$

Kokemuksien sekä suuren paksuuden takia a-mitaksi valitaan vähintään 8 mm. Tällä varmistetaan kestävä ja tukeva kiinnitys korvakkeelle.

## 7.2 Rakenteen lujuusanalyysi

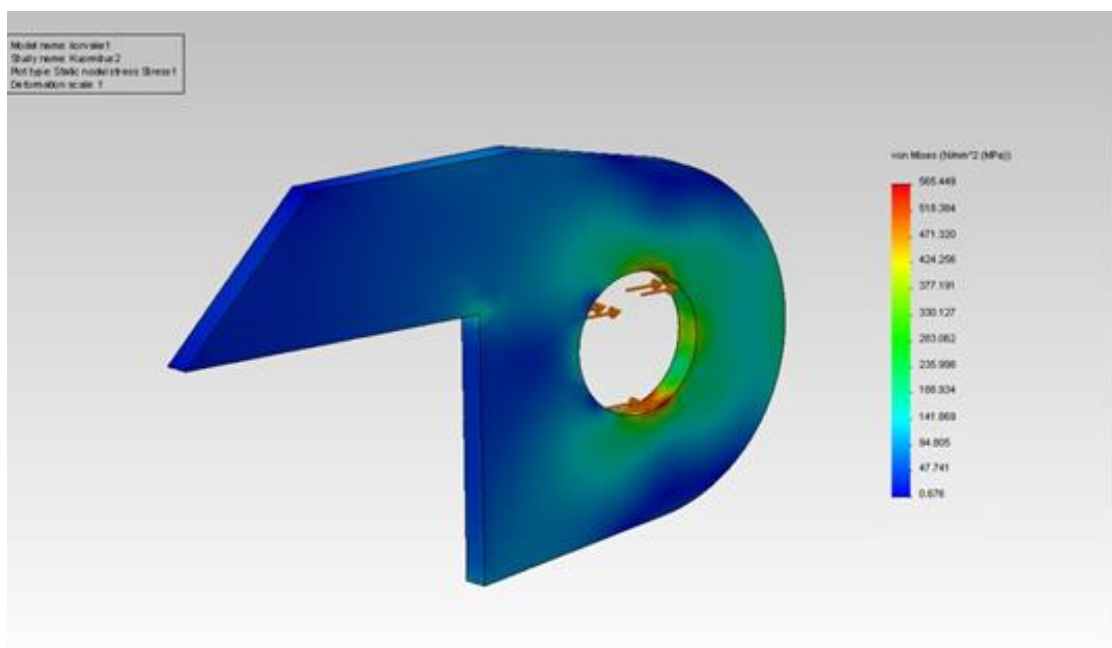
Tankopurkaimen niissä osissa, joissa lujuusanalyysi katsottiin tarpeelliseksi, tehtiin ne SolidWorks-3D-mallinnusohjelman simulaatio-ohjelmalla. Tehdyt rakennesimulaatiot eivät huomioi hitsausaumojen vahvistavaa vaikutusta, joten todellinen rakenne on vielä simuloituja tuloksia vahvempi. Simuloitavia osia olivat hydraulisylinterin kiinnityskorvakkeet.

Kuvassa 12 oleva pohjapalkin korvakkeen simulaatiotulos näyttää siihen kohdistuvat suurimmat jännitykset, kun korvaketta kuormittava voima on 134 800 newtonin suuruinen. Simuloinnin perusteella pohjapalkin korvakkeeseen kohdistuva maksimikuormitus on korvakkeen seosteräksen myötöärvä pienempi. Lopullisessa rakenteessa voima jakautuu kahden korvakkeen kanssa tasan, jolloin rakenteeseen syntyvä jännitys on puolet simuloidusta tuloksesta.



*KUVA 12. Pohjapalkin kiinnityskorvakkeen simulaatiotulos*

Kolapalkin korvakkeen simulointi tehdään samalla tavalla kuin pohjapalkin korvakkeen, eli korvakkeeseen kohdistuvana voimana käytetään 134 800 newtonin suuruinen. Kuvassa 13 nähdään kolapalkin korvakkeen simuloinnin tulos. Lopullisessa rakenteessa voima jakautuu kahden korvakkeen kanssa tasan.



*KUVA 13. Kolapalkin kiinnityskorvakkeen simulaatiotulos*

## 8 YHTEENVETO

Opinnäytetyö tehtiin Katera Steel Oy:lle Kajaaniin. Työn tavoitteena oli löytää järkevä ratkaisu tankopurkaimelle, jolla voitaisiin siirtää haketta kiinteärakenteisesta polttoainevarastosta ruuvikuljettimelle.

Opinnäytetyössä suunniteltiin tankopurkain, jolla voitaisiin siirtää puuhaketta polttoainevarastosta ruuvikuljettimelle. Tankopurkain mallinnettiin kokonaisuudessaan 3D-mallinnusohjelmalla ja siitä tehtiin valmistuspiirustukset. Rakenteiden kestävyyttä simuloitiin 3D-mallinnusohjelman avulla. Rakenteen kriittisimmille hitsausliitoksille tehtiin lujuustarkastelu. Työssä selvitettiin puuenergian käyttöä Suomessa, hakkeen käyttöä polttoaineena, hakelämpölaitoksen toimintaperiaatetta ja paloturvallisuutta sekä yleisen suunnitteluprosessin työnkulkua.

Työ oli antoisa, koska siinä pystyi hyvin soveltamaan opiskeltuja asioita, mutta samalla sai oppia uutta. Työ kehitti myös ammatillista kasvua ja tapaa ajatella rakenteita toimivuuden kannalta. Uutena asiana ja pienenä haasteena opinnäytetyössä oli rakenteiden simulointi 3D-mallinnusohjelman avulla. Aiheeseen liittyvän kirjallisuuden ja opettajan avustuksella simuloinnit sai tehtyä ilman suuria ongelmia.



## LÄHTEET

1. Puuenergia. Motiva. 2012. Saatavissa:  
[http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva\\_energia/bioenergia/puuenergia](http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/bioenergia/puuenergia).  
Hakupäivä 5.11.2012.
2. Katera Steel Oy. 2012. Saatavissa: <http://www.katerasteel.fi/index.html>. Hakupäivä 15.9.2012.
3. Puuperäiset polttoaineet. Bioenergia Suomessa. 2012. Saatavissa:  
<http://www.finbioenergy.fi/default.asp?SivulD=26470>. Hakupäivä 6.11.2012.
4. Metsäpolttoaineet. Motiva. 2012. Saatavissa:  
[http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva\\_energia/bioenergia/metsapolttoaineet](http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/bioenergia/metsapolttoaineet). Hakupäivä 5.11.2012.
5. HT Enerco Oy. Hakelämmitys. Saatavissa:  
[http://www.htenerco.fi/fi/bioenergialammitys/toiminta\\_hakelammitys/?id=272](http://www.htenerco.fi/fi/bioenergialammitys/toiminta_hakelammitys/?id=272).  
Hakupäivä 16.10.2012.
6. Puhakka, Asko – Alakangas, Eija – Alanen, Veli-Matti – Airaksinen, Leevi – Soini, Risto – Siponen, Tuomo – Kainulainen, Seppo 2001. Hakelämmityso-  
p-  
sopas. Helsinki & Joensuu: Motiva, Pohjois-Karjalan ammattikorkeakoulu.
7. Puu polttoaineena. Bioenergiaporssi. 2013. Saatavissa:  
<http://www.bioenergiaporssi.fi/k%C3%A4sitteet-ja-laskurit/puu-polttoaineena>. Hakupäivä 15.1.2013.
8. Tankopurkainjärjestelmä. Biofire. 2012. Saatavissa:  
<http://www.biofire.fi/turve-hakejarjestelma/tankopurkaimet>. Hakupäivä 14.11.2012.
9. Savon Voima Oyj:n bioenergiaohjelma. 2001. Saatavissa:  
<http://www.savonvoima.fi/SiteCollectionDocuments/yksityisasiakkaat/SVLampoBioenergiaohjelma.pdf>. Hakupäivä 14.1.2013.

10. Biofire. Tankopurkainjärjestelmä. 2012. Saatavissa:  
<http://www.biofire.fi/turve-hakejarjestelma/pohjapurkaimet/pohjapurkaimet/>.  
Hakupäivä 15.11.2012.
11. Screw conveyors. Bmh technology Oy. 2010. Saatavissa:  
<http://www.bmh.fi/products/conveyors/screw-conveyors/>. Hakupäivä  
16.1.2013.
12. Pahl, Gerhard – Beitz, Wolfgang. 1992. Koneensuunnitteluoppi. 2., korjattu  
painos. Porvoo: WSOY:n graafiset laitokset.
13. Mäkelä, Mikko – Soininen, Lauri – Tuomola, Seppo – Öistämö, Juhani –  
Salmelin, Terttu 2002. Tekniikan kaavasto. 4. painos. Jyväskylä: Gummerus  
Kirjapaino Oy.
14. Leino, Tapio 2006. Staattisesti kuormitettujen hitsausliitosten suunnittelu.  
Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=74097>. Haku-  
päivä 15.1.2013.
15. SFS 2373. 1980. Hitsaus. Staattisesti kuormitettujen teräsrakenteiden hit-  
sausliitosten mitoitus ja lujuuslaskenta. Helsinki: Suomen Standardisoimisliit-  
to SFS.
16. Blom, Seppo – Lahtinen, Pekka – Nuutio, Erkki – Pekkola, Kari – Pyy, Sep-  
po – Rautiainen, Hannu – Sampo, Arto – Seppänen, Pekka – Suosara, Eero  
1999. Koneenelimet ja mekanismit. 4., uudistettu painos Helsinki: Oy Edita  
Ab.

## LÄHTÖTIETOMUISTIO

Tekijä Markus Flander

Tilaaja Katera Steel Oy

Tilaajan yhdyshenkilö ja yhteystiedot Sampo Jauhiainen

Työn nimi Kiinteän polttoaineen kuljetinjärjestelmän suunnittelu lämpölaitokseen

Työn kuvaus Suunnitella polttoaineen kuljetinjärjestelmä polttoainevarastosta kattilan syöttöruuville. Polttoaineen siirrossa on käytettävä tankopurkaimia ja kola-  
kuljettimia. Suunnittelussa on huomioitava tarvittavat lujuuslaskennat ja  
laitteiden valmistuskuvat komponentteineen. \_\_\_\_\_

---

---

---

Työn tavoitteet Suunnitella valmistettavissa oleva tuote \_\_\_\_\_

---

---

Tavoiteaikataulu \_\_\_\_\_

---

---

---

---

Päiväys ja allekirjoitukset \_\_\_\_\_

---

Valmistuspiirustukset on jaoteltu yhdeksi pääkokoonpanoksi 100100, johon sisältyy yhdeksän alikokoonpanoa 100110, 100120, 100130, 100140, 100150, 100160, 100170, 100180 ja 100190 ja lisäksi hitsauskuvat. Kukin alikokoonpano on esitetty erillisinä piirustuksina. Alikokoonpanoissa esiintyvät osat ja pienemmät alikokoonpanot on mainittu piirustuksissa.

Teräsrakenteiden valmistuksessa noudatetaan ilman toleranssimerkintää olevien pituus- ja kulmamittojen toleranssistandardia SFS-EN 22768-1 ja hitsattuja rakenteita koskevaa standardia SFS-EN ISO 13920.

Piirustukset on numeroitu seuraavasti:

100100

1. 100110
  - a. 100111
  - b. 100112
2. 100120
  - a. 100121
  - b. 100122
  - c. 100123
  - d. 100124
3. 100130
4. 100140
5. 100150
6. 100160
7. 100170
8. 100180
9. 100190
  - a. 100191
  - b. 100192
10. 100200

Julkaistavassa versiossa valmistuspiirustuksia ei ole nähtävissä.